



Innovation Wasserkraft

Entwicklung von Lösungen zur
Wasserkraftnutzung an sensiblen
Standorten mit unkonventionellen
Randbedingungen

VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	2
Abstract	3
1 Einleitung	4
2 Kombination von flussbaulicher Sanierung und Energienutzung	5
2.1 Konzept des „Fließgewässerkraftwerkes“	5
2.2 Hydraulischer Modellversuch und numerische Modellierung	7
2.3 Hydromorphologie	12
2.4 Naturschutz	12
3 Kombination von Hochwasserschutzmaßnahmen und Energienutzung	13
3.1 Entwicklung eines Kraftwerkkonzeptes	13
3.2 Naturschutz	16
4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen	18
5 Ausblick und Empfehlungen	19
6 Abbildungsverzeichnis	20

Kurzfassung

Um die angestrebten österreichischen Klimaschutzziele erreichen zu können, ist ein weiterer Ausbau der Wasserkraft an den heimischen Gewässern unumgänglich. Im Rahmen des Projektes wurden neue Lösungsansätze für die Nutzung der Wasserkraft erarbeitet. Ziel war die Erschließung von Standorten, bei denen aufgrund ihrer spezifischen Rahmenbedingungen (niedrige Fallhöhen, Hochwasser-, Natur- und Gewässerschutz) konventionelle Technologien an die Grenzen ihrer Machbarkeit stoßen.

Im Zuge des Projektes wurden für zwei spezifische Flusstandorte in Österreich, mit unterschiedlich schwierigen Rahmenbedingungen, folgende Lösungsansätze entwickelt:

- **Kombination von flussbaulicher Sanierung und Energienutzung**
Die Überlegungen sehen die Integration von innovativen Kompaktturbinen in sanierungsbedingt zu errichtende aufgelöste Rampen in der Unteren Salzach vor. Dabei wird die Fließgewässercharakteristik des Flusses durch steuerbare Rampenöffnungen aufrecht erhalten. Zur Gewährleistung des Geschiebetransportes sind Kiesschleusen vorgesehen.
- **Kombination von Hochwasserschutzmaßnahmen und Energienutzung**
Der Hochwasserschutz in der Stadt Steyr soll durch eine Eintiefung des Flussbettes der Enns hergestellt werden. Zur Energienutzung soll der Wasserspiegel durch geeignete Wehrbauwerke auf etwa der ursprünglichen Höhe gehalten werden. Die damit erzielbaren – für Wasserkraftanlagen extrem geringen - Fallhöhen könnten energetisch genutzt werden. Im Hochwasserfall muss der gesamte Flussquerschnitt jedoch sicher für den Wasserabfluss freigegeben werden können.

Alleine die beiden untersuchten Standorte bieten ein Erzeugungspotential von deutlich über 100 GWh/a. Der Entwicklung von Kraftwerkslösungen für derartige Standorte kommt daher erhebliches Potential zur Verminderung von Treibhausgasemissionen zu.

Abstract

In order to reach the aspired climate protection targets, a further increase of hydropower generation is necessary in Austria. Against this background, the project explored new approaches for using hydropower. The aim was to investigate sites at which – due to specific difficult conditions like low heads, constraints with respect to floods, environmental and water protection – the use of conventional hydropower technologies is not feasible.

In the course of the project the following approaches were worked out for two Austrian river sites with variously complex framework conditions:

- **Combination of river-engineered restoration and hydropower generation**
The possibility of integrating innovative compact turbines into block ramps used for river restoration at the “Lower Salzach” river was assessed. At the same time, the stream character of the river is ensured by means of adjustable ramp openings. In addition, gravel sluices guarantee an appropriate sediment transport.
- **Combination of flood protection measures and hydropower generation**
This approach aims at providing flood protection in the intra-urban area of Steyr by recessing the river bed of the Enns. In order to be able to generate hydropower at the same time, the water level has to be kept approximately at the original level by installing appropriate weir constructions. The goal is to use the heads achieved by these measures for generating hydropower even though they are extremely low. Additionally, it must be ensured that the whole cross-section of the river can be reliably unblocked for discharging the water flow in case of a flood.

The electricity generation potential of the two investigated sites amounts to well above 100 GWh/a. This shows that a detailed investigation of innovative hydropower plant solutions for complex river sites can contribute a lot to reaching the ambitious energy and climate targets.

1 Einleitung

Um die ambitionierten europäischen und nationalen Klima- und Energieziele zu erreichen, ist eine weitergehende Nutzung der Wasserkraft von entscheidender Bedeutung. Viele der energiewirtschaftlich günstigen Wasserkraftstandorte sind jedoch bereits ausgebaut. Zur Erschließung des Potentials an technisch schwierigen und ökologisch sensiblen Standorten ist die Entwicklung neuer Techniken erforderlich. Im Rahmen des Projektes wurden von den Projektpartnern Österreichisch-Bayerische Kraftwerke AG, Universität Innsbruck und Ennskraftwerke AG innovative Wasserkraftlösungen für solche Standorte entwickelt.

Ziel des gegenständlichen Projektes ist die **Entwicklung von innovativen Wasserkraftlösungen**, die

- in der Lage sind, geringe Fallhöhen bei gleichzeitig großen Durchflüssen zu nutzen,
- in symbiotischer Kombination mit flussbaulichen Maßnahmen (Deregulierung, Sanierung, Renaturierung, Hochwasserschutz) stehen und
- standortbedingten hohen Natur- und Gewässerschutzanforderungen gerecht werden („gesamtökologische“ Kraftwerkskonzepte).

Diesen im Rahmen des gegenständlichen Projektes entwickelten Kraftwerken ist gemein, dass sie an Standorten zum Einsatz gelangen sollen, an denen herkömmliche, den gegenwärtigen Stand der Technik repräsentierende Kraftwerkstypen nicht umsetzbar sind. Beispielhaft wurden für zwei österreichische Flussstandorte (Salzach, Enns) mit unterschiedlich schwierigen Rahmenbedingungen innovative Lösungen entwickelt und deren technische, ökologische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit geprüft.

Ein Teilprojekt beschäftigte sich intensiv mit der Fragestellung der Kombination einer dringend erforderlichen flussbaulichen Sanierung an der Unteren Salzach mit einer energetischen Nutzung. Im Zentrum der Untersuchungen stand dabei, ob und unter welchen Rahmenbedingungen eine flussbauliche Rampe, die der Sohlstabilisierung dient, auch energiewirtschaftlich nutzbar gemacht werden kann. Zu klären dabei galt es insbesondere, wie das Ziel der Sanierung – nämlich die Anlandung von Geschiebe an der Rampe – mit einer energetischen Lösung in Einklang zu bringen ist.

Das weitere Teilprojekt ging der Frage der **Kombination von Hochwasserschutzmaßnahmen im städtischen Bereich und einer Kraftwerkslösung** nach. Konkret soll der Hochwasserschutz in der Stadt Steyr durch eine Eintiefung des Flussbettes der Enns erhöht werden. Es galt zu prüfen, ob durch eine Kraftwerksanlagen das Niveau des Flusses gehalten und energetisch genutzt werden kann; zugleich jedoch im Hochwasserfall der Abflussquerschnitt soweit wieder freigegeben wird, dass eine Hochwasserabfuhr gesichert möglich ist und die Eintiefung des Flusses seine volle Wirksamkeit entfaltet. Zur Entwicklung der neuen Kraftwerkskonzepte wurden aufeinander abgestimmte Arbeitspakete definiert, die von den Projektpartnern einzeln bzw. kooperativ bearbeitet wurden. Dazu zählten die wasser- und maschinenbauliche Planung, eine Variantenanalyse, ein hydraulischer Modellversuch, eine zwei- und dreidimensionale Modellierung, hydro-morphologische Untersuchungen, die naturschutzfachliche Begleitung sowie die Projektkoordination und Auswertung der Ergebnisse.

2 Kombination von flussbaulicher Sanierung und Energienutzung

2.1 Konzept des „Fließgewässerkraftwerkes“

Die Untere Salzach wurde in der Vergangenheit mehrfach reguliert; der ursprünglich verzweigte Fluss wurde in ein enges gestrecktes Gerinne überführt. Wie bei vielen begradigten Fließgewässern kommt es dadurch zu Erosionserscheinungen an der Flusssohle mit negativen Auswirkungen auf das Umfeld (Senkung des Grundwasserspiegels, Austrocknung von Nebengerinnen und Auen, Unterspülung von Bauwerken, Herabsetzung der Uferstabilität).

Abbildung 1: Untere Salzach um 1800 und im begradigten gegenwärtigen Zustand

Umfassende flussbauliche Sanierungen sollen der Eintiefung entgegenwirken und den Fluss und die Auen ökologisch aufwerten. Eine vielversprechende Möglichkeit ist der Einbau von Sohlrampen. Der innovative Lösungsansatz „Fließgewässerkraftwerke“ sieht vor, diese flussbaulichen Sohlrampen durch Einbau von Turbineneinheiten energetisch zu nutzen.

Aufgabenstellung war damit die Entwicklung einer Kraftwerkslösung, welche untrennbar mit der dringend erforderlichen Sanierung der Unteren Salzach verknüpft ist. Die Rahmenbedingungen dafür sind wie folgt definiert:

- Das Sanierungsziel Sohlstabilisierung muss uneingeschränkt erreicht werden.
- Die Hochwassersituation darf nicht nachteilig beeinflusst werden.
- Klassische Stauhaltungen und Begleitdämme sind nicht umsetzbar.
- Auf den Fließgewässercharakter des Flusses ist Bedacht zu nehmen.
- Die ökologische Durchgängigkeit muss auch im Hauptstrom sichergestellt sein.
- Eine Renaturierung der Ufer muss möglich sein.
- Es muss eine Aufwertung der Nebengewässer und Auen erfolgen.

Diese mit konventionellen Kraftwerkslösungen nicht kompatiblen Rahmenbedingungen können mit einer energetischen Nutzung nur dann vereinbart werden, wenn völlig neue Denkansätze zur Anwendung gelangen. Ein solcher Ansatz ist die Integration von Turbinen in die der Sanierung dienenden Sohlrampen.



Abbildung 2: Layout des Fließgewässerkraftwerkes

Kern des Konzeptes ist der Kraftwerksteil, der direkt in die aufgelöste Sohlrampe integriert wird. Die ökologischen Rahmenbedingungen (geringe Staulängen, keine Begleitdämme) erlauben maximale Fallhöhen zwischen 3,0 und 3,5 Metern, wodurch der Einsatz von **innovativen Turbinentechnologien** notwendig wird. Unterschiedliche Turbinentechnologien (bspw. Rohrturbinen, Dive-Turbine, Very-Low-Head-Turbinen, Matrixturbinen etc.) wurden verglichen und mit Turbinenherstellern intensive Diskussionen geführt. Es zeigt sich, dass der Einsatz von Kompaktturbinen (bspw. die von Andritz entwickelte Hydromatrix-Turbine) als vielversprechend anzusehen ist. Parallel dazu werden in Abstimmung mit Turbinenherstellern weitere Lösungsmöglichkeiten erarbeitet.

Wichtigstes Kennzeichen des Fließgewässerkraftwerkes ist der dynamische Oberwasserspiegel, der sich je nach Wasserführung einstellt und zusätzlich durch die beweglichen Elemente des Querbauwerkes gesteuert werden kann. Damit kann auch eine weitestgehende Konstanthaltung der Fallhöhe über den Betriebsbereich erfolgen. Das Kraftwerk kann aus Gründen des Landschaftsbildes auch ständig überströmt ausgeführt werden. Ebenso wird die aufgelöste Sohlrampe ständig dotiert. Dies ermöglicht eine gute **ökologische Durchgängigkeit** über die Rampe. Erst bei größeren Durchflüssen (Hochwasser) und bei Niedrigwassersituationen kann von diesem Konzept durch Öffnen der Universalöffnungen bzw. flexibler Elemente am Kraftwerk (Schlauchwehre) abgewichen werden. In diesen Zeiten (beschränkt auf zehn Tage im Jahr) ist eine energetische Nutzung nicht möglich.

Wesentliche Aufgabe der Rampe (bzw. des Querbauwerkes) ist die **Sohlstabilisierung**, die mit einer Anhebung der Sohle im Oberwasserbereich durch Geschiebeanladung erfolgt. Umgekehrt sind jedoch die Turbinen von Geschiebe freizuhalten. Dies soll durch Integration von **Geschiebegassen** zwischen den Turbineneinheiten bewerkstelligt werden.

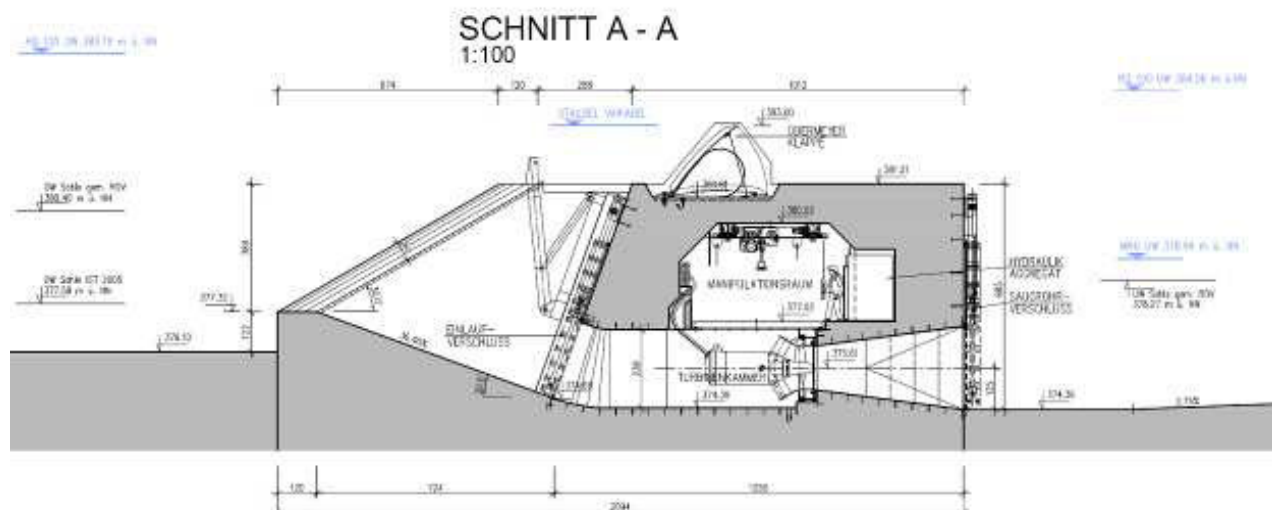


Abbildung 3: Schnitt durch die Turbinenachse des Fließgewässerkraftwerkes

Entsprechend den vorliegenden Ergebnissen können folgende Eckdaten des Kraftwerkprojektes angegeben werden:

- Gesamtbreite rd. 150 m
- Breite Krafthaus rd. 70 m
- Breite Sohlrampe rd. 80 m
- Fallhöhe 3,0 bis 3,5 m
- Anzahl der Turbinen 20
- Ausbaudurchfluss 210 m³/s
- Rampendotation mind. 15 m³/s
- Leistung rd. 6 MW
- Erzeugung > 30 GWh/a

Wesentliches Merkmal des Kraftwerkkonzeptes sind ein Fehlen von klassischen Stauhaltungen und Begleitdämmen. Die ständige flächige Überströmung des Bauwerkes erlaubt eine gute Einbindung in das Landschaftsbild. Dadurch wird es möglich eine Renaturierung (Uferaufweitung; „weiche Ufer“) vorzunehmen. Durch die Anhebung des Wasserspiegels und die Beibehaltung einer Gewässerdynamik wird gewährleistet, dass den Auenbereichen Wasser zugeführt wird und eine entsprechende Aufwertung erfolgt. Darüber hinaus ist die Schaffung eines Nebengewässersystems vorgesehen.

2.2 Hydraulischer Modellversuch und numerische Modellierung

Das Konzept des „Fließgewässerkraftwerkes“ wurde bislang noch nicht realisiert, weshalb tiefer gehende strömungstechnische Untersuchungen erforderlich sind. Neben einer computergestützten Modellierung sind Versuche anhand eines hydraulischen Modells essentiell.

Für die hydraulischen Modellversuche wurden folgende Aufgabenstellungen definiert:

- Hydraulische Untersuchung der Kraftwerksanströmung
- Hydraulische Untersuchung der aufgelösten Sohlrampe
- Untersuchung des Feststofftransportes im Bereich der Anlage
- Untersuchungen zur Durchgängigkeit auf der Sohlrampe
- Untersuchungen zur Stabilität der Sohlrampe (extreme Hochwasserereignisse)
- Untersuchungen zur Durchfahrbarkeit mit Booten

Zu diesem Zweck wurde im Wasserbaulabor der Universität Innsbruck ein hydraulisches Modell im **Maßstab 1:30** erstellt. Im Modellmaßstab kann dadurch ein Flussabschnitt von 450 Metern Länge und 200 Metern Breite abgebildet werden.

Zur Untersuchung des Feststofftransportes wurde der Modellstand mit einer Geschiebezugabevorrichtung versehen, über welche Sand mit definierter Korngrößenzusammensetzung zugegeben wird.

Die zur Versuchsdurchführung notwendigen Messsysteme umfassen Durchflussmessungen und Geschiebemessungen im Zulaufbereich, Messungen der Wasserspiegellagen im gesamten Modellbereich sowie Vermessungen der Gewässersohle mittels Laser.

Im Modellversuch wird das Krafthaus mit allen wesentlichen Bestandteilen abgebildet. Vereinfachungen sind im Bereich der Turbinenkammer und der Turbinen selbst vorgenommen worden. Die Turbinenblöcke mit jeweils fünf Turbinen wurden in modularer Bauweise gefertigt. Die im Konzept als Schlauchwehre, Obermeyer-Klappen oder Fischbauchklappen vorgesehenen Verschlussorgane über den Turbinenblöcken wurden im Modell vereinfacht als stufenlos verstellbare Klappen ausgeführt.

Das von der technischen Planung entwickelte Kraftwerkskonzept wurde mehreren Versuchsläufen unterzogen. Es zeigten sich in den ersten Versuchen deutliche Optimierungspotentiale hinsichtlich der Anströmung. Vor allem zeigten sich im Bereich des Turbineneinlaufes **deutliche Ablagerungen an Feststoffen**. Entsprechend wurde das Kraftwerk in mehreren Schritten iterativ umgestaltet und verbessert.

Mit den vorgenommenen Verbesserungen kann davon ausgegangen werden, dass die Turbinen weitgehend von Geschiebe freigehalten werden können und der Abtransport des Geschiebes über das Querbauwerk bzw. durch die Geschiebegassen gewährleistet werden kann.

Im Zuge der Untersuchung des Feststofftransportes wurde auch die Stabilität der Rampe im Hochwasserfall überprüft. Die Rampe hielt dem Abfluss eines 100-jährlichen Hochwasserereignisses plus 15% stand.



Abbildung 4: Mehrfach optimiertes hydraulisches Modell an der Universität Innsbruck

Nachdem die Fragestellung zum Feststofftransport durch das Querbauwerk erfolgreich beantwortet werden konnte, wurde das Hauptaugenmerk auf die Optimierung der **Anströmung** des Bauwerkes bzw. der Turbinen gelegt, da dies wesentlichen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit der Anlage hat. Zur Verdeutlichung der Anströmsituation kamen eine 3D-Geschwindigkeitsmesssonde und Farbttracer zum Einsatz. Die ursprüngliche Anströmsituation zeigte erhebliche Defizite (starke Wirbelbildung im Bereich der Einlaufrechen), die es zu optimieren galt. Die Bereiche der Optimierung betrafen den Trennpfeiler (zwischen Kraftwerk und Universalöffnung), die Bogensituation am rechten oberwasserseitigen Ufer sowie eventuelle Sohlebauten im Bereich zwischen Geschiebeleitschwelle und Einlauf (überströmte Buhnen etc.). In mehreren Versuchsreihen wurden die genannten Elemente angepasst und schließlich die optimale Anordnung gefunden. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass mithilfe einer gezielten Steuerung der Klappen am Bauwerk die Anströmung bei Gesamtabflüssen über dem Ausbaudurchfluss verbessert werden kann.

In einem weiteren Schritt wurden die vielfältigen Aufgaben der Sohlrampe im Modellversuch auf deren Tauglichkeit überprüft. Die zur Sohlstabilisierung notwendige Stabilität der Becken-Riegel-Struktur im Hochwasserfall konnte schon während der Versuche zum Feststofftransport gezeigt werden. Wesentliche Funktion kommt der Rampe hinsichtlich Fischdurchgängigkeit zu. Die zum Nachweis der Fischpassierbarkeit der Rampe notwendigen Bemessungsgrößen wurden schon im Vorfeld definiert und im Entwurf berücksichtigt. Als maßgebenden Fischarten in der Salzach sind der Huchen, der Wels und die Brachse zu nennen. Aus den maximalen Fischlängen und Höhen ergeben sich entsprechende Bemessungsgrößen. Die in der Rampe verwendeten Parameter (Wassertiefe, Schlitzweite, Beckenlänge, -breite und -tiefe, sowie die maximale Energiedissipation in den Becken) erfüllen für die meisten Abflüsse zwischen Niedrigwasser und erhöhtem Mittelwasser die Anforderungen.

Die Durchfahrbarkeit der Rampe mit Booten für unterschiedliche Wasserführungen wurde getestet und dokumentiert. Die Testläufe wurden mit einem unbeladenen und ungesteuerten Modellboot durchgeführt; dabei wurde das Boot am Einlauf der Bootsgasse gerade platziert und die Fahrt aufgezeichnet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Bootsbefahrbarkeit bei ausreichender Wasserführung (über 100 m³/s) gegeben ist.

Auf Basis der wasser- und maschinenbaulichen Planung und dem hydraulischen Modellversuch wurden numerische Berechnungen unternommen, welche die aus dem Modellversuch gewonnenen Erkenntnisse ergänzen.

Der erste Teil der numerischen Betrachtungen erfolgte unter Zuhilfenahme der **2-d numerischen Berechnungssoftware** Hydro_AS-2d und widmete sich folgenden Zielen:

- Hydraulische Untersuchung des weiteren Kraftwerksbereiches sowohl ober- als auch unterstrom
- Untersuchung der Änderung der Fließbedingungen im Oberwasser
- Beschreibung der Änderung der fließgewässerökologischen Parameter

Zusätzlich wurden mit der Berechnungssoftware Hydro_GS-2d Untersuchungen hinsichtlich des Geschiebetransportes angestellt. Das hierfür definierte Ziel umfasst die morphologische Untersuchung der Auswirkungen des Kraftwerkes im Ober- und Unterwasserbereich.

Die mit Hydro_AS-2d durchgeführten hydraulischen Betrachtungen ergaben eine (erwartete) Änderung der Fließgeschwindigkeiten und gleichzeitige Erhöhung der Fließtiefen im Oberwasserbereich des Kraftwerkes – verglichen mit den Bedingungen einer reinen Rampenlösung. Je nach Wasserführung betragen die Änderungen der Fließgeschwindigkeiten zwischen 0% und -10%, mit einhergehenden mittleren Fließgeschwindigkeiten zwischen 0,5 m/s im Niederwasserfall und 1,5 m/s bei stark erhöhtem Mittelwasser. Die Geschwindigkeiten entsprechen weitestgehend den in der Salzach natürlichen Verhältnissen. Da die Wasserstands-Abfluss-Beziehung des Kraftwerkskonzeptes für Abflüsse über 600 m³/s sich nicht von der Wasserstand-Abfluss-Beziehung der Rampenlösung unterscheidet, sind die Fließverhältnisse und daher die gewässerökologischen Parameter für höhere Abflüsse ident.

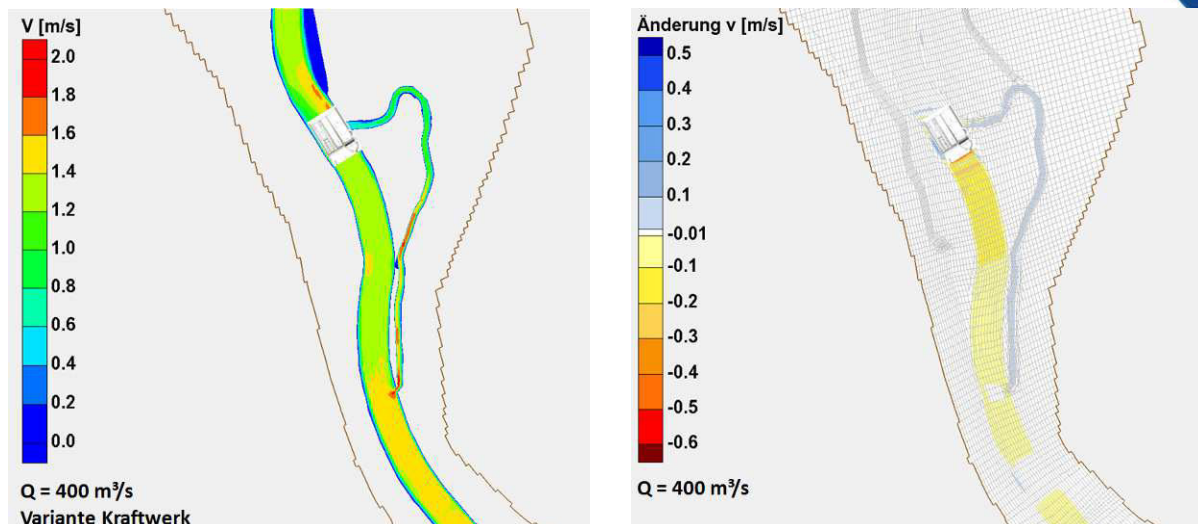


Abbildung 5: Beispielhafte Ergebnisse der 2D Modellierung

Die morphologische Untersuchung mittels Hydro_GS-2d zeigte im Hauptschlauch keine Veränderungen der Sohlentwicklung zwischen Kraftwerks- und Rampenkonzept, unter der Annahme, dass das am Kraftwerk ankommende Geschiebe plangemäß weitertransportiert wird, was im Modellversuch gezeigt werden konnte. Das Modell zeigte jedoch, dass die Anordnung des Einlaufes des Nebenarmes sehr sensibel gewählt werden muss, um eine Verlandung desselben zu verhindern.

Der zweite Teil der numerischen Betrachtungen befasste sich mit der komplexen Strömungssituation im Nahbereich des Anlagenbauwerkes, wozu die **3-d numerische Berechnungssoftware** Flow 3D herangezogen wurde. Folgende Ziele wurden definiert:

- Untersuchung der Kraftwerksanströmung im Nahbereich (innerhalb von 100 m)
- Untersuchung des Feststofftransportes im Nahbereich
- Untersuchung der Dynamik bezüglich der Spülvorgänge, Ermittlung der Schleppspannungen
- Untersuchung des Rampenbauwerkes hinsichtlich Durchgängigkeit

Dazu wurde ein 3D Modell des Nahbereichs des Kraftwerkes mit der Berechnungssoftware Flow 3D erstellt. Aufgrund der großen Abmessungen des Bauwerkes und der erforderlichen kleinen Auflösung des Netzes kam es zu einer sehr großen Anzahl an Berechnungspunkten (ca. 5 Millionen), die sehr lange Rechenzeiten bewirkten (mehrere Wochen). So konnte nur die Grundform des Bauwerkes und die im hydraulischen Modellversuch optimierte Form einer Berechnung unterzogen werden; auf weitere Optimierungen mittels numerischer Simulation musste aufgrund zeitlicher Einschränkungen verzichtet werden. Die Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Modellversuch und 3D Modell im Strömungsbild.

Zur Überprüfung des Feststofftransportes im Nahbereich der Anlage wurde zuerst im Zuge einer Diplomarbeit die Eignung des in Flow 3D implementierten Tools getestet. Der Test zeigte, dass die Eignung zur Berechnung von Feststofftransport nicht gegeben war, sodass auf die Erfüllung der oben definierten Ziele verzichtet werden musste.

2.3 Hydromorphologie

Das Teilprojekt zur Kombination von flussbaulicher Sanierung und Energienutzung baut unmittelbar auf den flussbaulichen Sanierungsmaßnahmen auf. Es gilt nachzuweisen, dass das Konzept des „Fließgewässerkraftwerkes“ in vollem Umfang den Anforderungen der Sanierung gerecht wird. Dies umfasst die Aspekte des **Hochwasserschutzes** sowie jene der **Sohlstabilisierung**.

Im Rahmen der Arbeiten wurden zweidimensionale Geländemodelle des weitläufigen Umfeldes des Referenzstandortes erstellt. Mittels eines zweidimensionalen hydraulischen Berechnungsprogrammes wurde in einem ersten Schritt die Hochwassersituation des Ist-Zustandes (Referenzzustand – ohne Maßnahmen und Kraftwerk) berechnet. In weiterer Folge wurde das geplante Fließgewässerkraftwerk in das Rechenmodell implementiert und die Auswirkungen auf die Hochwassersicherheit ermittelt (bis zum HQ100-Ereignis).

In einem zweiten Teil wurden **Prognoserechnungen für den Geschiebehaushalt** mit einem numerischen Geschiebetransportmodell (Programm MORMO) durchgeführt. Das Modell wurde an die Rahmenbedingungen der Wasserkraft angepasst und anhand von Querprofilaufnahmen der Salzach verifiziert. Für die Modellierung der Staustufen wurden die im Rahmen der technischen Planung entwickelten Wasserstand-Abfluss-Beziehungen eingebaut. Anschließend konnten die zu erwartenden Sohlagen berechnet werden. Um den Einfluss allfällig veränderter Randbedingungen abzuschätzen, wurden zusätzliche Sensitivitätsrechnungen durchgeführt.

Die Resultate liegen in Form von Längenprofilen, Sohlveränderungs- und Transportdiagrammen vor.

Mit Zuhilfenahme modernster Prognosemodelle konnte gezeigt werden, dass eine flussbauliche Sanierung (d.h. Sohlstabilisierung und Hochwasserschutz) auch mit einer energetischen Nutzung vereinbar ist. Dieser Nachweis bildet die Grundvoraussetzung für eine allfällige Realisierung des Vorhabens.

2.4 Naturschutz

Unter fachlicher Begleitung eines Ökologieinstitutes konnten parallel zum Planungsprozess Maßnahmen entwickelt werden, mit denen eine Integration einer Kraftwerkslösung an ökologisch sensiblen Standorten möglich wird. Die Schwerpunkte der Untersuchungen waren:

- Auswirkungen höherer Grundwasserspiegel auf das Auensystem,
- Bedeutung dynamischer Wasserspiegel für das Auensystem,
- Dotation von Nebengewässern,
- Kombination von Kraftwerkslösung und gleichzeitige Renaturierung der Ufer.

3 Kombination von Hochwasserschutzmaßnahmen und Energienutzung

3.1 Entwicklung eines Kraftwerkskonzeptes

Die Enns verfügt im Bereich der Stadt Steyr größtenteils über eine freie Fließstrecke. Bei jährlich wiederkehrenden Hochwasserereignissen werden Teile der Altstadt von Steyr überflutet. Um dieser Situation entgegen zu wirken, wurde von der Stadt Steyr ein **Hochwasserschutzprojekt** erarbeitet. Wesentlicher Teil dieses Projektes ist die Absenkung des Flussbettes der Enns, was zu einer Absenkung des Wasserspiegels im Bereich der Stadt Steyr führt. Neben der Verbesserung des Hochwasserschutzes bewirkt eine derartige Eintiefung jedoch auch negative Auswirkungen auf das Stadtbild der historischen Altstadt bzw. die Vergrößerung einer Schwelle zur einmündenden Steyr. Die Genehmigungen für dieses Projekt liegen bereits vor. Die Umsetzung wird für die nächste Niederwasserperiode angestrebt.

Im Rahmen des Projektes wurde das Konzept verfolgt, dieser Absenkung durch Einbau einer Wehranlage entgegenzuwirken und die dadurch entstehende Wasserspiegeldifferenz (bis maximal ca. 3 Meter) energetisch zu nutzen. Im Falle eines Hochwassers muss der Flussquerschnitt jedoch wieder frei gegeben werden können.

Die extrem niedrigen Fallhöhen einerseits sowie die Anforderungen an die Wehranlage betreffend Betriebssicherheit bei der Hochwasserabfuhr andererseits, stellen große Herausforderungen an die wasser- und maschinenbauliche Planung dar. Eine energetische Nutzung ist mit konventionellen Methoden nicht möglich.

In einer Variantenuntersuchung wurden Möglichkeiten einer energetischen Nutzung geprüft, die insbesondere folgende Aspekte beinhalten:

- Einklang der Energielösung mit dem Hochwasserschutzprojekt
- Entwicklung von Krafthaus- und Wehrlösungen
- Vorauswahl der Maschinentechnik
- Energiewirtschaftliche Betrachtungen

Im Rahmen einer Standortuntersuchung wurden zu Beginn generelle in Betracht zu ziehenden Kraftwerkskonzepte, die vor allem flussbauliche Rahmenbedingungen berücksichtigen, ermittelt. Aus diesen generellen Konzepten wurde ein Anlagenkonzept erarbeitet, für welches sich unter Betrachtung aller relevanten Gesichtspunkte die höchstmögliche Realisierungschance ergibt. Schwerpunkte der Untersuchungen bildeten die Optimierung der maschinentechnischen Lösung sowie die Anlagengesamtkonzeption unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen betreffend Natur- und Landschaftsschutz, Ökologie und Hochwasserschutz (siehe Ausführungen in den entsprechenden Kapiteln).

Die Situierung der Kraftwerksanlage direkt flussabwärts der Rederbrücke in Steyr stellt das zu favorisierende Anlagenkonzept dar, wobei das Krafthaus im Bereich des bestehenden Nebenarmes bzw. des zwischen Haupt- und Nebenarm liegenden Rederinselbereiches zu liegen kommt und die Wehranlage über das gesamte Hauptgerinne der Enns angeordnet ist.

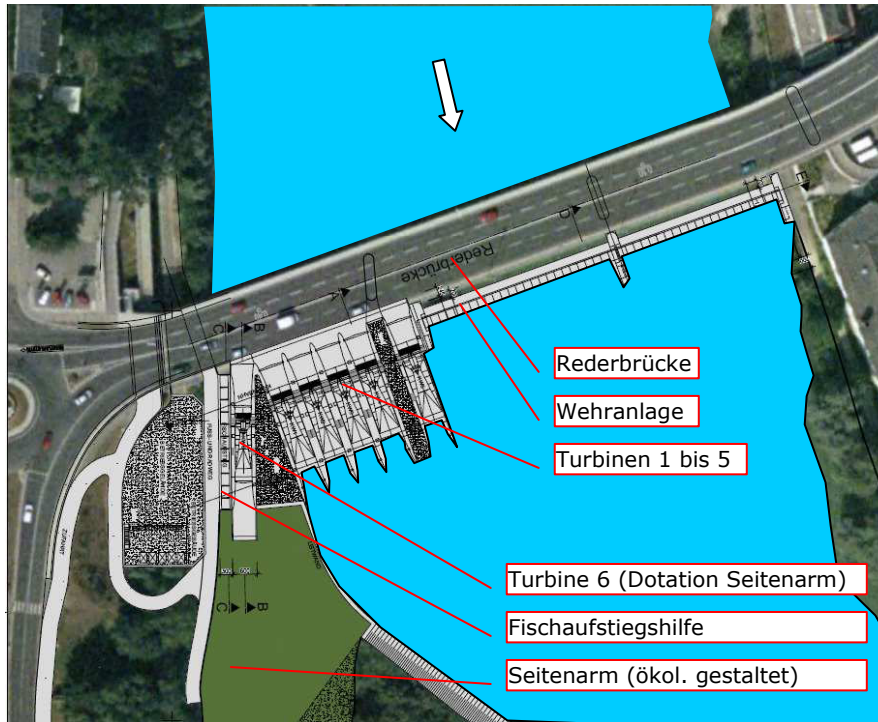


Abbildung 6: Lageplan der Anlage in Steyr

Die **Hauptdaten** dieses Anlagenkonzeptes sind:

Wehranlage: - zweifeldrige sohlebene Wehranlage im Hauptarm der Enns

- Verschlusshöhe 5,50 m

- Fischbauchklappen mit beidseitigem Hydraulikantrieb

Krafthaus: - 5 Maschinensätze „Bewegliches Krafthaus“ (Schluckvermögen à 25 m³/s)

- 1 Maschinensatz „Bewegliches Krafthaus“ direkt rechtsufrig zur Dotation des Nebengerinnes (Schluckvermögen 12 m³/s)

- Betriebsgebäude sowie Vorplatz in rechtsufrige Böschung integriert

- Bruttofallhöhe bei MQ = 203 m³/s beträgt rd. 2,6 m

- Ausbauleistung rd. 3 MW

- Jahresarbeitsvermögen rd. 19 GWh

Fischaufstieg: - rechtsufrig in „Vertical Slot Bauweise“ aus dem Nebenarm

Fischabstieg: - über bzw. unter Turbinenmodul in den Nebenarm

Durch die Anordnung der Wehranlage bzw. des Maschinenhausteiles direkt flussabwärts der bestehenden Straßenbrücke ergibt sich landschaftsgestalterisch eine Einheit, ohne die Kraftwerksanlage als zusätzlichen Querriegel in Erscheinung treten zu lassen. Weiters ergibt sich durch das Staubauwerk an dieser Stelle die Möglichkeit den Seitenarm entkoppelt vom Schwellbetrieb des Hauptgerinnes der Enns zu dotieren, was aus ökologischer Sicht der Schaffung eines naturnahen Abflussregimes gleichkommt.

Die Wehrschwelle ist entsprechend dem Stand der Überlegungen sohlgleich ausgeführt; d.h. dass **bei gelegten Wehren der Geschiebetrieb sowie die Hochwasserabfuhr nicht behindert** werden. Als Möglichkeiten für die Wehrgestaltung bieten sich Stauklappen (Fischbauchklappen) sowie Obermeyer-Klappen (Stahlsegmente mit Druckkissen) an. Reine Schlauchwehre konnten für die konkreten Bedingungen vor allem aufgrund der großen Verschlusshöhe sowie der spezifischen Abflussleistung nicht in Betracht gezogen werden.

Das Konzept des Maschinenhauses ist ebenfalls wesentlich von den Rahmenbedingungen des Hochwasserschutzes beeinflusst. Eine überströmte Krafthauslösung mit Lage im Nebenarm bzw. im Bereich der Rederinsel ist unabdingbar. Die Auswirkungen der Einbauten im Flussbett auf die Wasserspiegellagen wurden für verschiedene Hochwasserwahrscheinlichkeiten und sämtliche in Betracht zu ziehenden Anlagenkonzeptionen in einem 2-D-Modell numerisch ermittelt. Die errechneten Veränderungen der Wasserspiegellagen bewegen sich durchwegs im Bereich der Rechengenauigkeit.

Der aus energiewirtschaftlicher Sicht anzustrebende Ausbaugrad für die gegenständliche Kraftwerksanlage wurde anhand eines Vergleiches der spezifischen Arbeitskosten im Zuge der Standortuntersuchung mit etwa 2/3 MQ ermittelt. Die für diesen geringen Ausbaugrad erforderliche Breitenentwicklung des Krafthauses kann mit den Erfordernissen des Hochwasser-Abflussquerschnittes gut in Einklang gebracht werden.

Betreffend der Integration verschiedener Maschinentypen wurden zu Beginn vor allem konventionelle Rohrturbinen, Rohr-S-Turbinen, Very-Low-Head-Turbinen und Matrixturbinen auf ihren technischen und wirtschaftlichen Einsatz hin überprüft und verglichen. Die Überprüfung eines weiteren von der Fa. Hydro-Energie Roth GmbH neuentwickelten Turbinenkonzeptes („Bewegliches Krafthaus“) zeigte, dass durch dieses Konzept die besonderen standortspezifischen Anforderungen am besten erfüllt werden können. Besondere Bedeutung in diesem Zusammenhang haben folgende Vorteile:

- Geringe Baukubatur (Einbindetiefe in den Untergrund bzw. Höhenentwicklung)
- Kurze Bauzeit (Hochwasserabfuhr während Bauzeit)
- Optisches Erscheinungsbild ähnlich der Wehranlage
- Durchleitung von Geschiebeablagerungen möglich
- Hochwasserentlastung durch Schwenken der Turbineneinheit
- Fischabstieg über bzw. unter den Turbineneinheiten
- Geringe Schallemissionen (Kraftwerk im städtischen Bereich)
- Integrierter Feinrechen mit Rechenreinigungsanlage (Fischschutz)
- Hoher Gesamtwirkungsgrad (Synchrongenerator mit Permanentmagnet, geringe hydraulische Verluste im Zu- und Ablauf)
- Fallhöhengewinn durch Ejektorwirkung bei höheren Wasserführungen
- Geringere Kosten durch kurze Bauzeit und gering Baukubatur

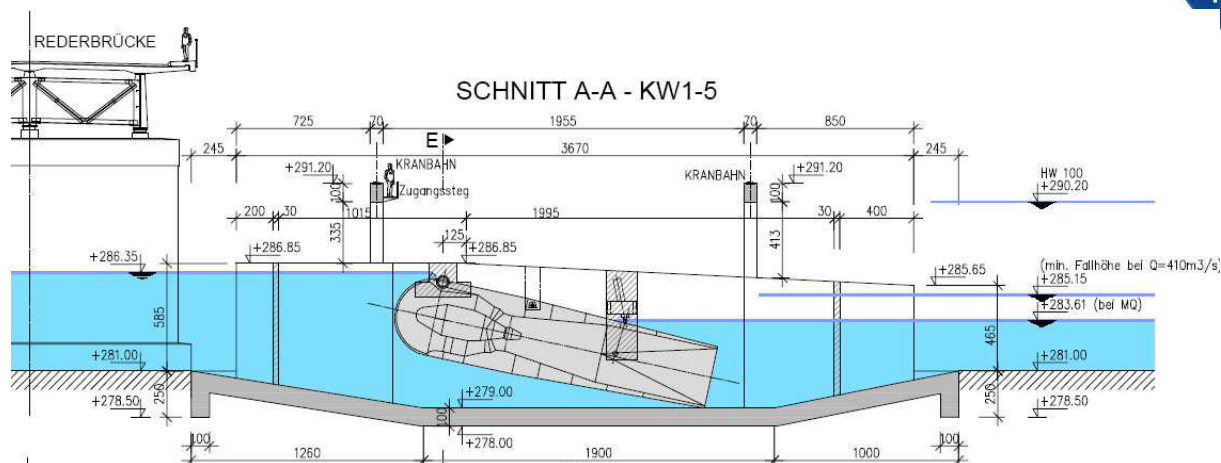


Abbildung 7: Querschnitt durch eine Maschineneinheit „Bewegliches Krafthaus“

Das „Bewegliche Krafthaus“ stellt im Wesentlichen eine komplett vorgefertigte Turbineneinheit aus axial angeströmter doppel-regulierter Kaplan turbine mit gekoppelten Permanent-Synchrongenerator dar, welche in einem schwenkbaren Kasten mit unterstromigem Saugrohr eingebaut ist. Diese Einheit wird in einen Trog, welcher aus einer Sohlplatte und Betonpfeilern besteht, eingehängt.

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie zeigen, dass am gegebenen Standort eine Energienutzung im Einklang mit den Anforderungen des Hochwasserschutzes möglich ist und gleichzeitig die ökologischen Anforderungen zur Aufwertung des Standortes erfüllt werden können.

3.2 Naturschutz

Im Rahmen des Projektes wurde eine detaillierte naturschutzfachliche Prüfung durchgeführt. Das generelle Kraftwerkskonzept sowie konkreten Standortüberlegungen im Bereich des Stadtgebietes Steyr wurden aus ökologischer Sicht beurteilt und auf Basis dieser Beurteilung weiterentwickelt. Im Zuge dieser Bearbeitung zeigte sich, dass allgemeine fischereiliche Aspekte (Schaffung Laich- und Jungfischhabitate, Ersatzlebensräume für adulte rheophile und kieslaichende Fischarten) gegenüber dem Gefährdungspotential für die Fischfauna, die vom Turbinenbetrieb ausgehen, an Bedeutung gewinnen. Diese geänderten Rahmenbedingungen haben direkte Auswirkungen auf die generelle Konzeption der Kraftwerksanlage (Standort, Ausbaugrad, Betriebsweise, etc.).

Besonders der Schaffung von gewässerökologisch wertvollen Lebensräumen, der Erhaltung des Gehölzbestandes und der landschaftlichen Kombinierbarkeit zwischen Brückenbauwerk und Wehranlage bzw. Krafthaus war dabei Rechnung zu tragen. Aufgrund der rechtlichen Rahmenbedingungen (WRRL, WRG, NGP, usw.) stand bei allen Überlegungen stets die Erreichung einer biozönotischen Aufwertung des betroffenen Gewässers im Vordergrund.

Konkret konnte ein Konzept für eine Wasserkraftanlage entwickelt werden, welches die bestehenden generellen Gewässerstrukturen (vor allem die des Nebenarmes der Enns im

Bereich der Rederinsel) bestmöglich nutzt und sogar aufwertet. Durch die Errichtung der Kraftwerksanlage ergibt sich die Möglichkeit den Nebenarm durch eine Sohlanhebung sowie Abflachungen und Buhnensystem derart zu gestalten und entkoppelt vom schwellbetrieb-beeinflussten Hauptgerinne zu dotieren, sodass hier standortgerechte Laich- und Jungfischhabitate bzw. ein Ersatzlebensraum für adulte rheophile und kieslaichende Fischarten entstehen. Weiters ergeben sich Vorteile hinsichtlich der Fischpassierbarkeit zwischen Enns und Steyr durch die reduzierte Aufstiegshöhe und daraus resultierende alternative Gestaltungsmöglichkeiten der Fischaufstiegshilfen des Zusammenflusses.

Mit dem Turbinenkonzept des „Beweglichen Krafthauses“ konnte eine Auslegung getroffen werden, welche zusammen mit einer Fischaufstiegshilfe sämtlichen Anforderungen an die Fischpassierbarkeit bzw. den Fischschutz Rechnung trägt. Besonders der mögliche Fischabstieg bei Über- bzw. Unterströmung der Turbineneinheit lässt das in Betracht gezogenen Turbinenkonzept als besonders fischfreundlich erscheinen.

Weitere positive Beweggründe das Turbinenkonzept des „Beweglichen Krafthauses“ aufzugreifen, ist die überströmte Anordnung der Turbineneinheit, welche diese kaum in Erscheinung treten lässt, sowie das geringe Bauvolumen bzw. die geringe Einbindetiefe in den Untergrund, was mit geringen Eingriffen im Flussbett und Uferbereich gleichzusetzen ist.



Abbildung 8: Nebenarm der Enns am Standort der geplanten Fischaufstiegshilfe (links Bewuchs der Rederinsel, rechts Uferbestockung)

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Projektes wurden für zwei komplexe Standorte neue und innovative Wasserkraftlösungen erarbeitet. An beiden Standorten sind konventionelle Kraftwerkslösungen nicht umsetzbar, weshalb neue Ansätze gewählt werden mussten.

So wurde eine Lösung für einen Standort entwickelt, der durch Sohlrampen flussbaulich saniert werden soll. Das Konzept sieht vor, in die Sohlrampe ein Kraftwerk zu integrieren und die sich ergebenden sehr niedrigen Fallhöhen von etwa 3 Metern zu nutzen. Im zweiten Anwendungsfall wurde ein Kraftwerkskonzept für einen Standort entwickelt, der extrem hochwassersensibel ist, was eine vollständige Freigabe des Abflussquerschnittes durch das Wehrbauwerk im Hochwasserfall erfordert. Auch an diesem Standort ergeben sich mit 1 bis max. 3 Metern extrem niedrige nutzbare Fallhöhen.

Im Rahmen umfassender Untersuchungen konnte die technische Machbarkeit beider Lösungen gezeigt werden.

5 Ausblick und Empfehlungen

Aufgrund der durchwegs positiven und vielversprechenden Ergebnisse sollen die Projekte weiter verfolgt werden. Mittelfristiges Ziel ist die Umsetzung der Kraftwerke als Demonstrationsanlagen. Gegenwärtig werden dazu von den Projektpartnern weitere vertiefende und ergänzende Planungsschritte durchgeführt bzw. die erforderlichen Gespräche mit Verwaltung und Politik geführt. Eine erfolgreiche Umsetzung der neuen Kraftwerkskonzepte wäre ein weiterer Schritt in Richtung einer optimalen und ökologisch vertretbaren weitergehenden Nutzung heimischer und regenerativer Energiepotenziale und nicht zuletzt auch ein Anstoß zur Prüfung und Umsetzung von Projekten an Standorten mit ähnlich komplexen Rahmenbedingungen.

Im Zentrum der Untersuchungen stand bei beiden Kraftwerksprojekten die Wahl des Turbinentyps. Es zeigte sich, dass großtechnische Anwendungen im extremen Niederdruckbereich nur möglich sein werden, wenn kostengünstige und damit sehr einfache und robuste Maschinenkonzepte zur Anwendung gelangen. Solche Lösungen sind am Markt jedoch nur eingeschränkt verfügbar, weshalb deren Entwicklung von essentieller Bedeutung für die zukünftige Nutzung von Standorten mit sehr niedrigen Fallhöhen sein wird. Initiiert durch das gegenständliche Projekt wird gegenwärtig mit einem namhaften Turbinenhersteller ein Folgeprojekt aufgesetzt, im Rahmen dessen ein kompakter und sehr kostengünstiger Turbinentyp entwickelt und ein Prototyp hergestellt und getestet werden soll.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untere Salzach um 1800 und im begradigten gegenwärtigen Zustand	5
Abbildung 2: Layout des Fließgewässerkraftwerkes	6
Abbildung 3: Schnitt durch die Turbinenachse des Fließgewässerkraftwerkes	7
Abbildung 4: Mehrfach optimiertes hydraulisches Modell an der Universität Innsbruck....	9
Abbildung 5: Beispielhafte Ergebnisse der 2D Modellierung	11
Abbildung 6: Lageplan der Anlage in Steyr.....	14
Abbildung 7: Querschnitt durch eine Maschineneinheit „Bewegliches Krafthaus“	16
Abbildung 8: Nebenarm der Enns am Standort der geplanten Fischaufstiegshilfe (links Bewuchs der Rederinsel, rechts Uferbestockung)	17

IMPRESSUM

Verfasser

Österreichisch-Bayerische Kraftwerke
Aktiengesellschaft

Karl Heinz Gruber
Kraftwerkstraße 58, 5280 Ranshofen
E-Mail: karl.heinz.gruber@verbund.at

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
office@klimafonds.gv.at
www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige
Verantwortung für den Inhalt dieses
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise
die Meinung des Klima- und Energiefonds
wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die
Weiternutzung der hier enthaltenen
Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH